

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **2 625 376** (13) C1ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[C22F 1/18 \(2006.01\)](#)[B21C 37/04 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса:
28.01.2019)(21)(22) Заявка: [2016110292](#), 21.03.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.03.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.03.2016

(45) Опубликовано: [13.07.2017](#) Бюл. № 20(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2119549 C1, 27.09.1998. RU
2095455 C1, 10.11.1997. SU 742483 A,
25.06.1980. US 6077369 A, 20.06.2000. US
2015/0159252 A1, 11.06.2015.

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
УрФУ, центр интеллектуальной
собственности, Маркс Татьяна
Владимировне

(72) Автор(ы):

Демаков Сергей Леонидович (RU),
Степанов Степан Игоревич (RU),
Гадеев Дмитрий Вадимович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина" (RU)(54) СПОСОБ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРУТКОВ ИЗ ДВУХФАЗНЫХ
ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО
КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ В НАПРАВЛЕНИИ ОСИ ПРУТКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способам термомеханической обработки прутков из двухфазных титановых сплавов. Способ термомеханической обработки прутков из двухфазных титановых сплавов с молибденовым эквивалентом от 3,3 до 22% включает закалку прутка и его холодную деформацию. Перед закалкой прутки подвергают горячей деформации при температуре в диапазоне от 500°C до $T_{пп}$ -20°C с обеспечением аксиальной текстуры β -фазы <110> с полюсной плотностью не менее трех. Закалку прутка осуществляют с температур в диапазоне от 720°C до $T_{пп}$ с последующей холодной деформацией вдоль оси прутка при температуре не выше 300°C и с относительным удлинением от 1 до 30%, где $T_{пп}$ - температура полиморфного превращения сплава. Сплав характеризуется низким термическим коэффициентом линейного расширения при высоких значениях прочности и удовлетворительной пластичности. 1 ил., 2 табл., 1 пр.

Изобретение относится к области машиностроения, а именно описывает способ термомеханической обработки прутков из двухфазных титановых сплавов для получения низких значений термического коэффициента линейного расширения в направлении оси прутка, то есть для реализации одномерного инвар-эффекта в двухфазных титановых сплавах.

В инварном сплаве H36 (Fe-36%Ni) [1] инвар-эффект связан с ферромагнитностью этого материала, и поэтому такой материал не требует какой-либо специальной термомеханической обработки для реализации инвар-эффекта. Недостатками данного материала является недостаточная прочность при высокой плотности, а также недостаточно низкие значения термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР), а также ограниченная коррозионная стойкость.

Также известен неферромагнитный сплав 93ЦТ (Zr-(6-8%)Ti), характеризующийся достаточно высокой пластичностью и коррозионной стойкостью [2]. К недостаткам этого материала можно отнести также сравнительно высокие значения ТКЛР, а также ограниченный температурный интервал проявления инвар-эффекта (-100...150°C) при повышенной плотности.

Недостатком другого существующего сплава Cr - (3-7%)Fe - (0.2-1.5%)Mn - (0.001-1.0%)La является крайне узкий интервал пониженных значений ТКЛР (0...40°C) при катастрофически низкой пластичности при комнатных температурах и высокой плотности [2]. Кроме того, сплав является нетехнологичным.

Известен способ реализации инвар-эффекта в титановых сплавах, легированных 2...20% (масс.) ванадия, а также опционально ниобием и танталом [2, 3], используемый для получения состояния с низким термическим расширением в диапазоне температур от -150 до 200°C, включающий закалку сплава из однофазной β -области для получения структуры α' -мартенсита с последующей холодной прокаткой с обжатием 30...70% для получения преимущественной кристаллографической ориентировки (текстуры) мартенсита. Инвар-эффект в данном случае реализуется за счет анизотропии свойств кристаллической решетки мартенсита вдоль осей «а», «b» и «с».

Данный способ является близким к предлагаемому техническому решению. Недостатком данного подхода является необходимость использования специальных прецизионных сплавов, а также недостаточный уровень прочностных свойств в состоянии после обработки. Последнее отчасти связано с необходимостью закалки сплава из однофазной β -области, что приводит к сильному росту зерен с последующим падением прочностных и пластических свойств. Кроме того, способ требует проведения прокатки с сильными обжатиями в холодном состоянии, когда пластичность сплава является низкой.

Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в формировании состояния в прутках из коррозионностойких неферромагнитных промышленных титановых двухфазных титановых сплавов с низким контролируемым значением ТКЛР (вплоть до отрицательного), которое характеризуется повышенной прочностью при удовлетворительной пластичности.

Техническим результатом изобретения является низкое значение ТКЛР (-3...3) в интервале температур -140...+70°C при высоких значениях прочности (более 900 МПа) и удовлетворительной пластичности (более 5%).

Указанный результат достигается за счет комплексной термомеханической обработки, которая включает горячую деформацию прутка при температуре в диапазоне 500°C... $T_{пп}$ -20°C для получения аксиальной текстуры β -фазы $\langle 110 \rangle$ с полюсной плотностью не менее 3, закалку прутка с температур в интервале 720°C... $T_{пп}$ с последующей холодной деформацией вдоль оси прутка, при температуре не выше 300°C и с относительным удлинением от 1 до 30%, где $T_{пп}$ - температура полного полиморфного превращения используемой плавки сплава.

В качестве материала, из которого производится прутки, могут выступать двухфазные титановые сплавы, условный молибденовый эквивалент которых находится в интервале от 3,3 до 22%.

Сущность изобретения: достижение вышеуказанного технического результата изобретения основано на анизотропии термического расширения кристаллической решетки α' -мартенсита, формирование которого возможно при охлаждении и деформации титановых сплавов.

При деформировании двухфазных титановых сплавов при повышенных температурах происходит текстурирование β -фазы, то есть возникновение в материале преимущественной кристаллографической ориентировки. При этом частицы α -фазы, сохраняющиеся в структуре сплава до температуры полного полиморфного превращения ($T_{пп}$), препятствуют протеканию рекристаллизации β -

фазы, при которой может изменяться сформированная деформацией текстура. При последующей закалке происходит фиксация метастабильной β -фазы с текстурным состоянием, которое было сформировано при горячей деформации. Деформирование закаленного сплава в холодном состоянии приводит к повышению температуры начала мартенситного превращения выше комнатной и протеканию деформационно-индуцированного прямого $\beta \rightarrow \alpha''$ -мартенситного превращения. Формирующая при этом α'' -мартенситная фаза наследует текстурное состояние от β -фазы. Преимущественная аксиальная текстура (010) α'' -мартенситной фазы вследствие отрицательного термического расширения вдоль оси «b» ее кристаллической решетки обеспечивает компенсацию термического расширения/сужения материала в указанном интервале температур.

С целью реализации инвар-эффекта сплавы, из которых изготовлены прутки, должны характеризоваться следующим. Во-первых, должна иметься возможность фиксации метастабильной β -фазы при закалке. Во-вторых, химический состав β -фазы должен обеспечивать возможность протекания деформационно-индуцированного $\beta \rightarrow \alpha''$ -мартенситного превращения при комнатных температурах. Использование сплавов с молибденовым эквивалентом менее 3,3% исключает возможность сохранить в закаленном состоянии β -фазу в достаточном количестве, а в сплавах с эквивалентом свыше 22% стабильность закаленной β -фазы оказывается слишком высокой для протекания деформационно-индуцированного мартенситного превращения при комнатной температуре.

Предшествующее закалке деформирование прутков при этом должно осуществляться при температурах, обеспечивающих максимально высокую объемную долю β -фазы в структуре материала, при этом сохраняющаяся в структуре α -фаза должна эффективно подавлять протекание рекристаллизационных процессов в материале. Как показали исследования, при температурах ниже 500°C объемная доля β -фазы в структуре является пренебрежимо низкой, а выше $T_{пп}-20^\circ$ доля α -фазы оказывается недостаточной для торможения рекристаллизации. Температура последующей закалки была выбрана таким образом, чтобы, с одной стороны, обеспечить фиксацию метастабильной β -фазы при комнатной температуре, а с другой стороны, сохранялась возможность протекания деформационно-индуцированного мартенситного превращения. Закалка с температур ниже 720°C приводит к получению β -фазы с температурой начала мартенситного превращения значительно ниже комнатной. Степень холодной деформации должна быть достаточной для протекания $\beta \rightarrow \alpha''$ -мартенситного превращения при комнатной температуре. Меньшая степень деформации не обеспечивает необходимого повышения температуры начала мартенситного превращения, а более высокая приводит к получению α' -мартенсита в структуре, реализация инвар-эффекта, при котором является невозможной.

Пример.

Предлагаемое техническое решение подтверждено на примере термомеханической обработки промышленного сплава BT16 (Ti-3Al-5Mo-5V), условный молибденовый эквивалент которого равен 8,25.

В процессе обработки исходная заготовка под прутки диаметром 12 мм подвергалась волочению на конечный диаметр 5,3 мм и закаливалась в воду с температуры 760°C. Затем прутки при комнатной температуре подвергались одноосному растяжению вдоль оси до достижения относительной степени деформации 0,7...8,0%. Значения ТКЛР определялись с помощью высокоточного дифференциального dilatометра Linseis L75VD1600C.

В табл. 1 представлены зафиксированные в температурном интервале -140...70°C значения, а на фиг. 1 - зависимость ТКЛР сплава от степени холодной деформации. В табл. 2 приведены механические свойства сплава после холодной деформации со степенью 8%.

Как видно из приведенных данных, в результате предложенной термомеханической обработки достигается значительное снижение ТКЛР (вплоть до отрицательных значений) при сохранении высокой прочности (более 900 МПа) и удовлетворительной пластичности (порядка 5%).

Таблица 1

Относительная степень холодной деформации сплава, %	ТКЛР, $K^{-1} \cdot 10^6$
(исходный материал)	8
1	2,8
2	-0,4
3	-1,8
4	-2,8
8	-2.8

Таблица 2

$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %
910	920	6

Источники информации

1. Прецизионные сплавы. Справочник. М.: 1984, с. 212...258.
2. Неферромагнитный инварный сплав и изделие, выполненное из него (их варианты): пат. 2095455 Рос. Федерация. №96114190/02; заявл. 16.07.1996; опубл. 10.11.1997.
3. Хромова Л.П. Повышение качества изделий точного машиностроения на основе разработки инварного титанового сплава: автореф. дис. канд. техн. наук. - Москва, 2005. - 28 с.

Формула изобретения

Способ термомеханической обработки прутков из двухфазных титановых сплавов с молибденовым эквивалентом от 3,3 до 22%, включающий закалку прутка и его холодную деформацию, отличающийся тем, что перед закалкой пруток подвергают горячей деформации при температуре в диапазоне от 500°C до $T_{пп}-20^\circ\text{C}$ с обеспечением аксиальной текстуры β -фазы $\langle 110 \rangle$ с полюсной плотностью не менее трех, закалку прутка осуществляют с температур в диапазоне от 720°C до $T_{пп}$ с последующей холодной деформацией вдоль оси прутка при температуре не выше 300°C и с относительным удлинением от 1 до 30%, где $T_{пп}$ - температура полиморфного превращения сплава.

**СПОСОБ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРУТКОВ ИЗ
ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ
ЗНАЧЕНИЙ ТЕРМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ
В НАПРАВЛЕНИИ ОСИ ПРУТКА**



Фиг 1

ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **22.03.2018**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **22.01.2019**

Дата публикации и номер бюллетеня: [22.01.2019](#) Бюл. №03

